

На правах рукописи



БАКИРОВ Альфит Рафитович

**ПЕРЕРАБОТКА СЕРНОКИСЛЫХ НИКЕЛЬСОДЕРЖАЩИХ  
РАСТВОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АММИАКА**

05.16.02 – Metallurgy of black, colored and rare metals

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2014

Работа выполнена на кафедре технологии неорганических веществ ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Научный руководитель: Катышев Сергей Филиппович,  
доктор химических наук, профессор

Официальные оппоненты: Мальцев Геннадий Иванович,  
доктор технических наук, старший  
научный сотрудник,  
ОАО «Уралэлектромедь», главный  
специалист исследовательского  
центра;

Томашов Владимир Андреевич,  
кандидат химических наук,  
ООО «Технологическая  
лаборатория Гиредмет», директор

Ведущая организация: ОАО «Уральский научно-  
исследовательский химический  
институт с опытным заводом»,  
г. Екатеринбург

Защита диссертации состоится «03» октября 2014 г. в 15:00 ч на заседании диссертационного совета Д 212.285.05 на базе ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по адресу: 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, Зал ученого совета (аудитория I).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», <http://dissovet.science.urfu.ru/news2/>

Автореферат диссертации разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2014 г.

Ученый секретарь  
диссертационного  
совета

Сулицин Андрей Владимирович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

**Актуальность работы.** Современное развитие промышленного производства связано с возрастающим потреблением цветных металлов. Неизбежное истощение природных ресурсов обязывает переходить к более совершенному использованию вторичного сырья и техногенных образований. Проблема рецикла никеля обусловлена сферой его потребления и сроком службы изделий.

Потребление никеля для производства сталей и сплавов на его основе представляет во времени цикл определяемый десятками лет. Вопросы сбора и повторного использования никельсодержащих отходов этого аспекта можно считать удовлетворительно разрешенными. Переработка таких отработавших свой срок изделий не представляет трудности и успешно реализуется по всему миру. Большой интерес представляют изделия и материалы, имеющие короткий срок службы, возврат которых в сферу потребления менее длительный. Примером таких изделий и материалов могут служить катализаторы, щелочные аккумуляторы, отработанные травильные растворы и шламы гальваники, хвостовые маточные растворы медеэлектролитных заводов.

Большинство гидрометаллургических способов переработки никельсодержащих продуктов основано на растворении в серной кислоте. Неизбежный избыток обусловлен кинетикой процесса, а для хвостовых маточных растворов избыток кислоты усугублен присутствием большого количества примесных компонентов.

Большой избыток серной кислоты в традиционных процессах производства никелевого купороса в режиме упарки ведет к получению высокогигроскопичного продукта, что исключает его хранение и транспортировку. Высокое содержание примесей усложняет процесс получения продукта удовлетворительной чистоты. Выпарка растворов с большим избытком серной кислоты требует специального дорогостоящего оборудования и больших энергетических затрат. Таким образом, система

$\text{NiSO}_4 - \text{H}_2\text{SO}_4$  в присутствии примесных компонентов представляет собой научно-техническую проблему.

**Цель работы.** Научное обоснование и поиск технических решений проблемы рецикла никеля в сфере его производства и потребления.

В соответствии с поставленной целью изучению подлежат следующие ее аспекты:

- система  $\text{NiSO}_4 - \text{H}_2\text{SO}_4$  в присутствии примесных компонентов;
- синтез аммонийного сульфата никеля и его фракционирование в восходящем потоке с переменным гидродинамическим режимом;
- исследование и реализация процесса изогидрической кристаллизации двойной аммонийной соли никеля;
- твердофазная конверсия никель-аммоний сернокислого в гидроксид никеля (II);

### **Научная новизна**

1. Установлены особенности захвата примесных компонентов двойной аммонийной солью никеля в процессе ее синтеза и последующей кристаллизации. Гидратные формы железа и мышьяк представляют механическую смесь с кристаллами двойной соли. Цинк, медь, кобальт склоны к образованию собственных двойных солей, изоморфных с никелевым макрокомпонентом.
2. Впервые опробован процесс разделения неизоморфных примесных компонентов от кристаллической фазы двойной аммонийной соли никеля с использованием восходящего потока с переменным гидродинамическим режимом.
3. Предложен непрерывный способ получения гидроксида никеля (II) кристаллической структуры прямой конверсией двойной никелевой соли в щелочном растворе с возможностью изменения полной удельной поверхности в широких пределах.

## **Практическая значимость работы**

Обоснованы принципы рецикла никеля в сфере производства и потребления, обеспечивающие решение сырьевых и экологических проблем.

- предложен способ переработки никельсодержащих техногенных растворов с извлечением никеля в продукт более 95 %.

- синтез гидроксида никеля методом твердофазной конверсии сокращает общий цикл производства более чем в два раза.

- применение восходящего потока с переменным гидродинамическим режимом позволяет с высокой эффективностью разделить аморфную и кристаллическую фазу в одну стадию процесса.

## **На защиту выносятся:**

- научные основы технологии комплексной переработки никельсодержащих растворов;

- результаты исследования процесса фракционирования кристаллической двойной соли никеля от примесных компонентов в восходящем потоке с переменным гидродинамическим режимом и изогидрической противоточной перекристаллизации;

- результаты исследования твердофазной конверсии гидроксида никеля (II) из двойной аммонийной соли никеля;

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы докладывались на XXI Российской молодежной научной конференции «Проблемы теоретической и экспериментальной химии» (Екатеринбург, 2011), XII Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (Нерюнгри, 2011), II Международной Казахстанско-Российской конференции по химии и химической технологии (Караганда, 2012).

**Публикации.** По результатам работы опубликовано 8 статей, в том числе 2 в рецензируемых научных журналах, получено 2 патента.

**Личный вклад.** Сформулированы задачи исследования. Проведены экспериментальные исследования синтеза двойной аммонийной соли никеля,

разделения полученной суспензии на аморфную и кристаллическую составляющие, фракционной кристаллизации полученной двойной аммонийной соли никеля, твердофазного синтеза гидроксида никеля (II) на основе двойной соли никеля.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 133 наименований. Работа изложена на 115 страницах, содержит 31 рисунок и 22 таблицы.

#### **Благодарности.**

Автор выражает искреннюю признательность научному консультанту к.т.н., доценту Низову В.А. за всестороннюю поддержку, помощь в планировании и обсуждении научных результатов, и помощь в подготовке диссертационной работы.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель исследований по теме диссертации и основные положения, характеризующие научную новизну и практическую значимость работы, перечислены основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** «Литературный обзор» представлены сведения об источниках и объемах образования сернокислых никельсодержащих растворов. Проведена сравнительная характеристика известных способов утилизации и переработки сернокислых никельсодержащих растворов. Определены основные трудности, возникающие при переработке подобных растворов.

Представлен аналитический обзор методов очистки веществ. Показаны основные области применения различных методов очистки. Указаны основные плюсы и минусы методов. Наиболее полно рассмотренные кристаллизационные методы очистки веществ, которые выбраны в качестве основополагающего метода в диссертационной работе.

Проведен анализ методов получения гидроксида никеля (II). Показано, что традиционные методы получения гидроксида никеля (II), сливанием растворов, имеют ряд существенных недостатков. Основным недостатком является образование аморфного гидроксида никеля, что существенно усложняет последующие технологические операции. Получение кристаллического гидроксида никеля связано с использованием промежуточной сушки. Еще одним существенным недостатком является образование большого количества промывных вод.

Во **второй главе** «Изучение процесса получения никель-аммоний сернокислого из техногенных растворов» представлены результаты экспериментальных исследований синтеза двойной аммонийной соли никеля из сернокислых никельсодержащих растворов.

Для проведения исследований были использованы хвостовые маточные растворы медеелектролитных заводов «Уралэлектромедь», «КМЭЗ» и отработанный электролит предприятия переработки медного лома ТОО «Кастинг». Состав растворов приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав растворов

Элемент		Ni	Cu	Zn	As	Fe	Mg	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
КМЭЗ	Содержание, г/л	56,0	1,5	3,5	22,1	2,7	2,5	235,7
УЭМ	Содержание, г/л	38,0	1,05	5,7	36,3	2,1	1,8	345,9
ТОО «Кастинг»	Содержание, г/л	19,4	8,5	5,6	-	3,0	0,3	140

Синтез сульфата никеля аммонийного шестиводного осуществлялся обработкой исходного раствора аммиачной водой. Процесс экзотермический, температурный режим регулировался скоростью подачи аммиачной воды и поддерживался не выше 80 °С.

В процессе нейтрализации раствора и охлаждения реакционного объема наблюдалась кристаллизация двойной соли. Установлено, что при достижении рН раствора равного 1,2, для растворов «УЭМ» и «КМЭЗ»,

наблюдается образование бело-серого аморфного осадка представленного арсенатом железа. Для растворов ТОО «Кастинг» начало гидратообразование соответствует величине рН раствора равного 3.

В процессе синтеза двойной аммонийной соли достигнуты следующие показатели извлечения никеля (таблица 2).

Таблица 2 – Степень извлечения никеля из растворов

Наименование раствора	Степень извлечения, %	[Ni], г/дм <sup>3</sup>
КМЭЗ	98,8	0,21
УЭМ	99,5	0,08
ТОО «Кастинг»	92,4	0,97

Состав полученных образцов двойных солей представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Состав двойных солей никеля

Наименование пробы	Содержание, % масс.								
	Осн. в-во.	Ni	Cu	Zn	Fe	Mg	Na	K	As
КМЭЗ	99,2	14,05	0,05	0,60	0,01	0,06	0,02	0,02	0,1
УЭМ	98,2	13,10	0,09	1,42	0,04	0,25	0,04	0,06	0,35
ТОО «Кастинг»	99,5	11,29	1,49	1,70	0,01	0,01	0,02	0,01	-
ГОСТ 4464-75	97,5	14,56	0,002	0,02	0,002	0,1			-

Для определения оптимальных условий кристаллизации, позволяющих получить наиболее чистые кристаллы двойной аммонийной соли никеля, в программе STATISTICA 7.0 построили поверхность, характеризующую зависимость равновесного коэффициента сокристаллизации примеси цинка с кристаллами двойной аммонийной соли никеля от температуры, степени пересыщения и скорости вращения мешалки (рисунки 1, 2).

Результаты экспериментов обобщены в форме математических зависимостей в виде полных полином, что позволяет оценить вклад каждого



фактора на равновесный коэффициент сокристаллизации цинка с двойной аммонийной солью никеля (коэффициент значимости  $R=93\%$ ):

$$D = 0,072 - 0,0004t - 0,0001v + 0,493r - 1,1 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 5,9 \cdot 10^{-8} \cdot v^2 - 0,155 \cdot r^2 + 4,1 \cdot 10^{-7}t \cdot v + 3,9 \cdot 10^{-6}r \cdot v - 1,1 \cdot 10^{-4}t \cdot r \quad (2.6)$$

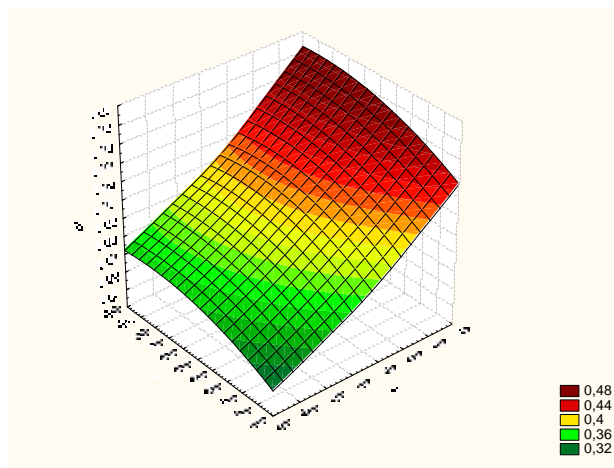


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента сокристаллизации примеси цинка с двойной аммонийной солью никеля в зависимости от температуры (t) и степени пересыщения (r)

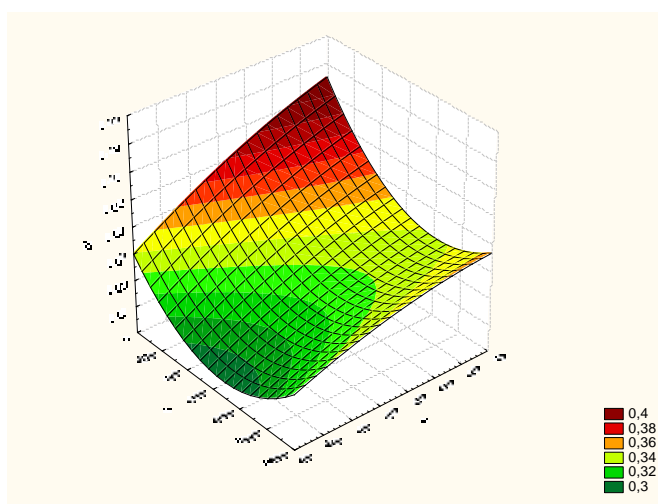


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента сокристаллизации примеси цинка с двойной аммонийной солью никеля в зависимости от температуры (t) и скорости вращения мешалки (v)

Все коэффициенты приведенных полиномов оказываются значимыми, что свидетельствует об адекватности полученных моделей.

Наибольшее влияние на коэффициент сокристаллизации примеси цинка с кристаллами двойной аммонийной соли никеля оказывают факторы увеличивающие скорость диффузии через приграничный слой возле

поверхности кристаллов, а именно скорость перемешивания реакционного объема и изменение температуры.

В третьей главе «Фракционирование примесей в процессе очистки никель-аммоний сернокислого» представлены результаты очистки двойной аммонийной соли никеля от примесных компонентов.

Для проведения исследований использовалась двойная аммонийная соль никеля, полученная из растворов ТОО «Кастинг» и УЭМ, состав которых приведен в таблице 3.

Для очистки кристаллов использовалась два метода – гидролитическая очистка и фракционная кристаллизации.

Гидролитическая очистка проводилась обработкой горячего насыщенного раствора двойной соли никеля аммиачной водой. После завершения обработки суспензия охлаждалась при постоянном перемешивании до 25-35 °С. Реакционный объем представлен смешанной суспензией кристаллов двойной соли и аморфных гидроксидов в маточном растворе.

Разделение полученной пульпы на кристаллическую и аморфную составляющие осуществлялся в колонном аппарате, оснащенном завихряющими тарелками типа КРИМЗ с принудительной пульсацией восходящего потока.

Исходный продукт непрерывно подавался в верхнюю часть колонны, разгрузка двойной соли никеля по мере его накопления проводилась из нижней части колонны (рисунок 3). В качестве восходящего потока использовался осветленный маточный раствор, который подавался в нижнюю часть колонны и сливался через верхний перелив. Для создания восходящего потока использовался перистальтический насос с регулируемой скоростью подачи. Скорость восходящего потока выбиралась в диапазоне 5-15 м/ч из условия фракционирования аморфной фазы. Аморфная фаза удалялась вместе с верхним сливом колонны и собиралась в отстойнике. Для

наложения переменного возмущения восходящего потока использовался пневматический пульсатор.

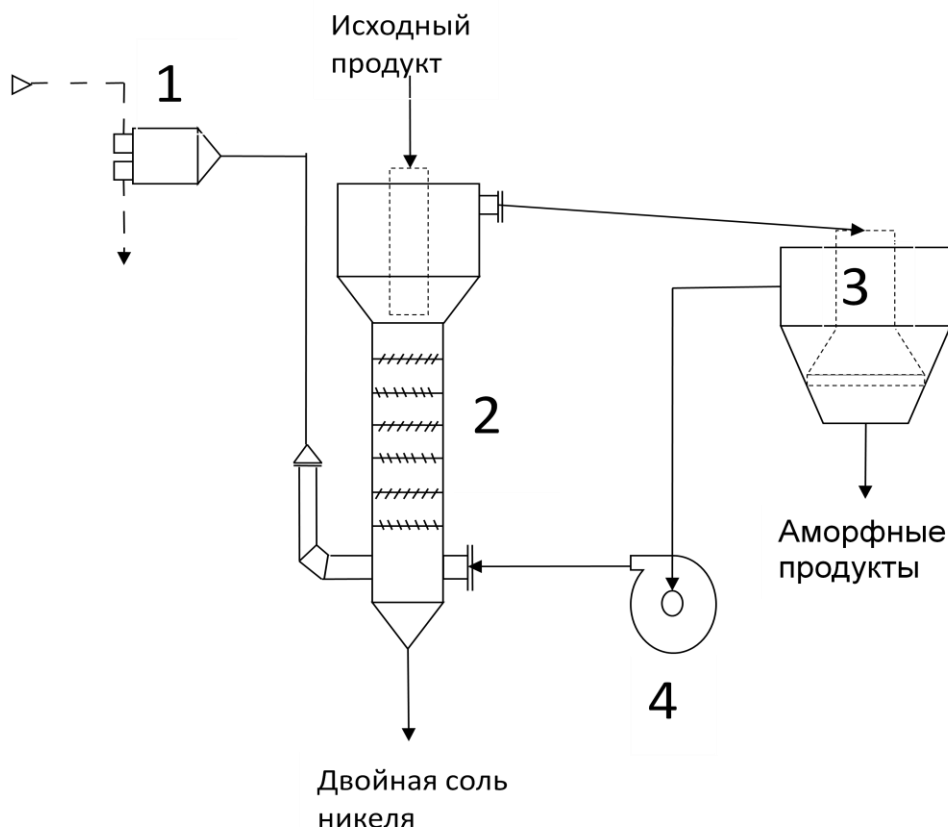


Рисунок 3 – Пилотная лабораторная установка для фракционирования аморфных примесей и двойной аммонийной соли никеля:

1 – пневматический пульсатор; 2 – пульсационная колонна; 3 – отстойник; 4 – перистальтический насос.

Результаты гидролитической очистки двойной соли никеля ТОО «Кастинг» представлены на рисунке 4.

Оптимальным можно считать условия проведения гидролитической очистки при значении рН среды равном 7. При большем значении рН происходит обратное растворение примесей цинка и меди с образованием аммиачных комплексов, что ведет к загрязнению двойной соли никеля при кристаллизации.

Состав двойных солей никеля полученных при выбранных оптимальных условиях представлен в таблице 5.

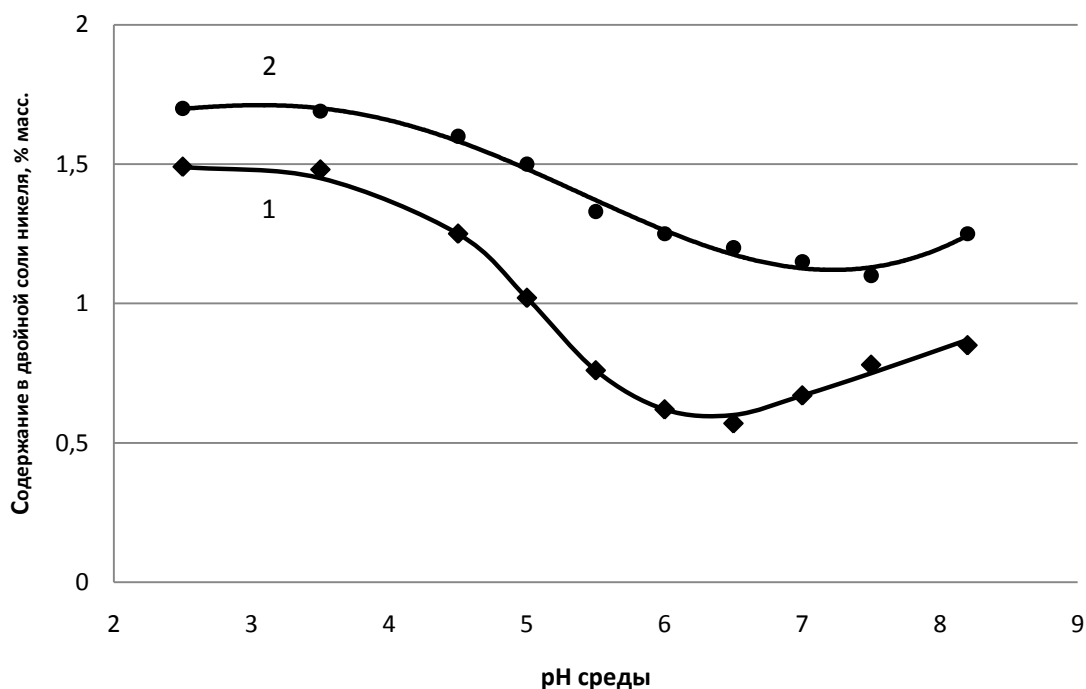


Рисунок 4 – Зависимость содержания меди и цинка в двойной аммонийной соли никеля от условий проведения гидролитической очистки:

1 – содержание примеси меди; 2 – содержание примеси цинк.

Таблица 5 – Состав двойных солей никеля после гидролитической очистки

Наименование пробы	Содержание, % масс.								
	Осн. в-во.	Ni	Cu	Zn	Fe	Mg	Na	K	As
ТОО «Кастинг»	99,8	13,04	0,67	1,15	-	-	-	-	--
УЭМ	99,7	13,93	-	0,93	-	0,05	-	-	0,02

Фракционная кристаллизация проводилась на двойной аммонийной соли никеля после гидролитической очистки на образце ТОО «Кастинг».

Установлено, что захват примесей меди и цинка кристаллами двойной соли никеля обусловлен изоморфным характером и наиболее полно описывается согласно закону Дернера-Хоскинса.

Для реализации процесса фракционной кристаллизации использовалась противоточная перекристаллизация с вводов воды на последние три стадии. Процесс реализован в трех реакторах. Степень кристаллизации поддерживалась на каждой стадии на уровне 0,8. Зависимость содержания

примесей цинка и меди от стадии процесса перекристаллизации представлена на рисунке 5.

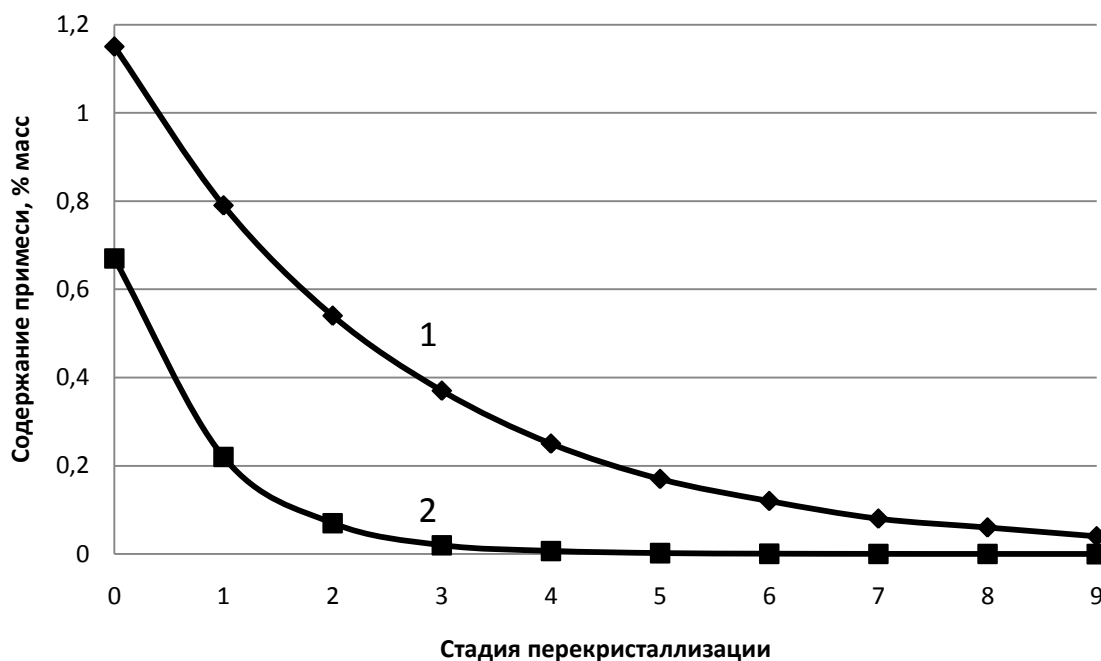


Рисунок 5 –Зависимость содержания примесей меди и цинка в двойной соли на стадиях процесса кристаллизации

В четвертой главе «Твердофазная конверсия двойной аммонийной соли никеля в гидроксид (II)» представлены результаты получения гидроксида никеля (II) из двойной аммонийной соли никеля путем твердофазной конверсии.

Для реализации конверсии использованы два типа реакторов, идеального смешения, представляющий собой аппарат с механическим перемешивающим устройством, и идеального вытеснения, аппарат колонного типа, оснащенный завихряющими тарелками типа КРИМЗ и принудительной пульсацией восходящего потока.

В первом случае осаждение гидроксида никеля вели в периодическом режиме с постепенной загрузкой кристаллов двойной соли в щелочной раствор. После загрузки расчетного количества двойной соли перемешивание пульпы продолжали в течение 15 минут, затем пульпу направляли на выделение и промывку гидроксида никеля. Во втором случае процесс конверсии вели в непрерывном режиме в пульсационной колонне. Двойную

соль никеля подавали непрерывно в верхнюю часть колонны, а разгрузку полученного гидроксида никеля по мере его накопления проводили из нижней части колонны. В качестве восходящего потока использовали щелочной раствор, который подавался в нижнюю часть колоны, а сливался через верхний перелив. Для создания восходящего потока использовали перистальтический насос с регулируемой скоростью, линейную скорость восходящего потока поддерживали в диапазоне до 8 м/час. Более высокая линейная скорость приводит к выносу гидроксида никеля из колонны.

Отмывку гидроксида никеля от примесных компонентов проводили на той же установке, в качестве восходящего потока использовали дистиллированную воду. Скорость восходящего потока выбиралась в пределах 5-10 м/час из условия фракционирования твердой фазы. При этом «аморфная» фаза гидроксида никеля удалялась вместе с верхним сливом колонны и собиралась в отстойнике. Отмытая кристаллическая фаза по мере накопления выводилась с нижней разгрузкой колонны.

В процессе проведения исследований установлено, что гидроксид никеля (II) при твердофазной конверсии никель аммоний сернокислого может быть получен в трех различных модификациях: аморфная с минимальным размером агрегатов, «кристаллическая» по своим размерам и форме близкая к исходной соли и «сферическая», имеющая округлые формы.

Установлено, что форма получаемой твердой фазы «кристаллического» или «сферического» типа определяется исходной концентрацией осадителя. До 50 г/дм<sup>3</sup> по NaOH, как правило, образуется «сферическая» форма с более высокой развитой удельной поверхностью, при концентрации выше 100 г/дм<sup>3</sup> образуется преимущественно «кристаллическая» форма (рисунок 6).

На рисунке 7 представлен выход фаз (аморфной и кристаллической), при осаждении гидроксида никеля (II), в зависимости от температуры процесса, при концентрации осадителя 100 г/дм<sup>3</sup>.

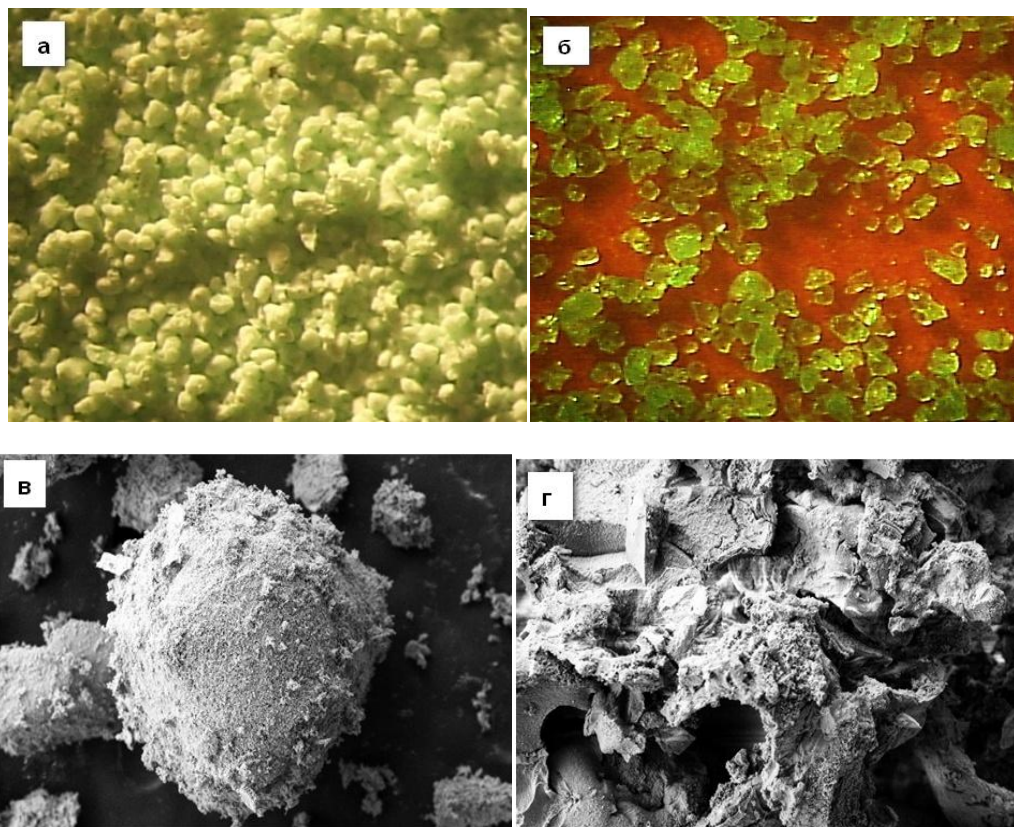


Рисунок 6 – Формы частиц гидроксида никеля: *а* - сферический ( $\times 100$ ); *б* – кристаллический ( $\times 100$ ); *в* – сферический ( $\times 1000$ ); *г* – кристаллический ( $\times 1000$ )

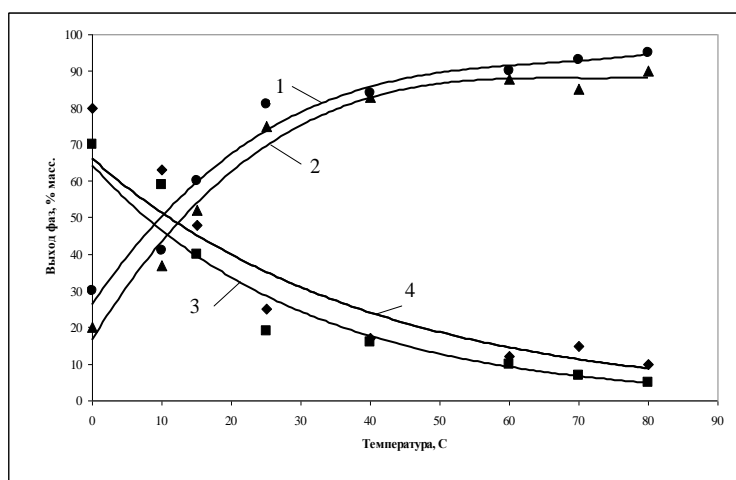


Рисунок 7 – Выход фаз гидроксидов никеля (II) от температуры процесса:

1, 2 – «кристаллический» при непрерывном и периодическом режимах соответственно;

3, 4 – аморфный при непрерывном и периодическом режимах соответственно

На рисунке 8 представлена временная зависимость потери влаги при сушке для кристаллических и аморфной фаз гидроксида никеля (II).

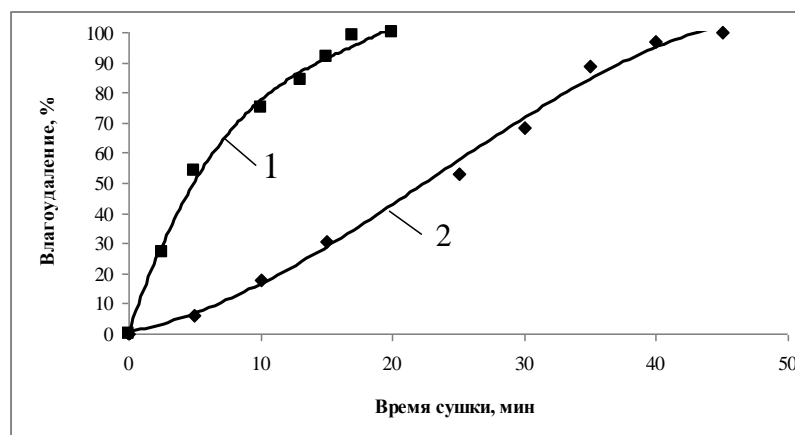


Рисунок 8 – Зависимость скорости потери влаги при сушке гидроксида никеля:

1 – кристаллический; 2 - аморфный

В результате проведенных испытаний установлено, что при использовании в качестве исходного соединения никель аммоний сернокислого шестиводного удается реализовать процесс осаждения гидроксида никеля (II) с высоким выходом хорошо структурированной твердой фазы. Такая форма гидроксида никеля в традиционной технологии образуется после первой стадии сушки аморфной формы. При этом наибольший выход фазы с высокими отстойно-фильтрационными характеристиками наблюдается при использовании процесса идеального вытеснения в режиме скоростей восходящего потока до 8 м/час. Использование избытка осадителя (концентрация свыше 100 г/дм<sup>3</sup>.) обеспечивает образование классической «кристаллической» формы гидроксида никеля (II). При более низкой исходной концентрации осадителя образуется «сферическая» форма гидроксида никеля (II). При концентрации щелочи от 50 до 80 г/дм<sup>3</sup>, форма зерен гидроксида никеля (II) имеет переходную структуру от «сферической» формы к «кристаллической». Основное отличие гидроксида никеля «сферического» от «кристаллического», состоит в его более высокой полной удельной поверхности, так для «кристаллического» гидроксида никеля полная удельная поверхность составляет  $77 \pm 2$  м<sup>2</sup>/г, а для «сферического»  $138 \pm 4$  м<sup>2</sup>/г.



В результате фильтрации образцов аморфной и кристаллических фаз при постоянной движущей силе процесса установлено, что кристаллические формы гидроксида никеля могут быть отжаты до остаточной влажности 18-20%. В то время как аморфная фаза верхнего слива с колонны обезвоживается до остаточной влажности 55-60%. Этот факт находит прямое подтверждение во временной зависимости потери влаги при сушке и объясняет преимущества технологии производства гидроксида никеля (II) методом твердофазной конверсии сульфатов в щелочных растворах.

На основании проведенных исследований, для реконструкции цеха регенерации отработанного электролита рафинирования меди предприятия ТОО «Кастинг», рекомендована аппаратурно-технологическая схема, представленная на рисунке 9.

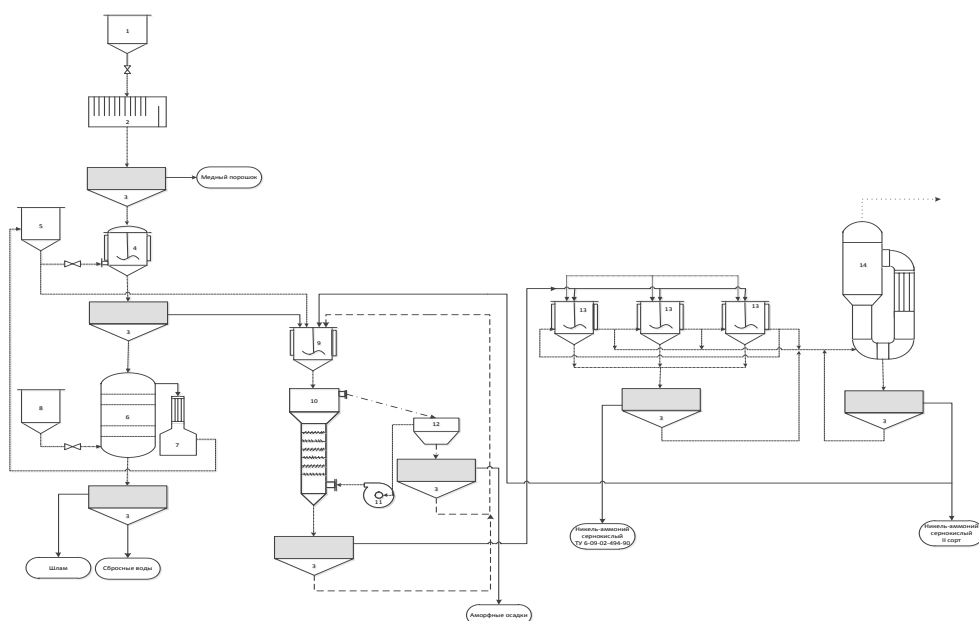


Рисунок 9 – Аппаратурно-технологическая схема переработки отработанного электролита рафинирования меди ТОО «Кастинг»:

1 – напорный бак отработанного электролита; 2 – электролизер; 3 – фильтр; 4 – реактор синтеза двойной аммонийной соли никеля; 5 – бак аммиачной воды; 6 – дистиллятор аммиака; 7 – Сборник аммиачной воды; 8 – Бак известкового молока; 9 – Реактор гидролитической очистки; 10 – Пульсационная колонна; 11 – Насос с регулируемой скоростью подачи; 12 – Конический отстойник; 13 – Реактор-кристаллизатор; 14 – Вакуум-выпарная установка;

## Заключение

1. Система сульфат никеля – серная кислота представляет большой научно-практический интерес для решения проблемы рецикла никеля в сфере его производства и потребления. Круг интересов охватывает производство щелочных аккумуляторов, медеелектролитных заводов, гальванических участков машиностроения, производства катализаторов.

Для реализации разработанных технических решений использованы хвостовые маточные растворы медеелектролитных заводов, представляющие наиболее широкий спектр по составу примесных компонентов.

2. В процессе синтеза и кристаллизации двойной аммонийной соли никеля железо (III) и мышьяк при достижении рН раствора 1,2 образуют собственную фазу, представленную арсенатом железа аморфной структуры. При значении рН более 2,5 в аморфную фазу переходят соединения меди и цинка. Образовавшаяся аморфная фаза представляет механическую смесь с кристаллами двойной соли никеля.

В условиях сильноокислой среды, когда образование аморфных осадков невозможно, захват примесей меди, цинка, железа (II), кобальта и магния обусловлен замещением катиона никеля в кристалле двойной соли. Содержание примесей в кристалле имеет прямую зависимость от степени кристаллизации. При этом содержание примесей имеет не постоянный характер, а уменьшается от периферии кристалла к центру. Изоморфный механизм захвата примесей наиболее полно описывается законом Дернера-Хоскинса.

3. Предложенное техническое решение - обработка растворов аммиачной водой в режиме синтеза двойной соли с последующим фракционированием, позволило достичь высоких показателей по извлечению никеля с одновременной эффективной очисткой от примесных компонентов. При этом степень извлечения никеля тем выше, чем выше исходное содержание свободной серной кислоты в растворе.

4. Разделение аморфной и кристаллической фаз на фракции в восходящем потоке с переменным гидродинамическим режимом с применением пульсационных колонн позволяет наиболее полно разделить механическую смесь на составляющие. Метод оказался эффективным как для очистки двойной

соли, так и для фракционирования осадка гидроксида никеля (II). В последнем случае расход промывных вод снижен более чем в три раза.

5. Выявлена зависимость формы образующегося в процессе твердофазной конверсии гидроксида никеля (II) от концентрации щелочного реагента в растворе. Варьированием щелочности раствора может быть получен продукт с широким диапазоном полной удельной поверхности (25-150 м<sup>2</sup>/гр.).

6. Для получения плотного сферического гидроксида никеля необходимо использование комплексообразователя, в качестве которого могут быть использованы аммонийные соединения.

7. Разработаны рекомендации по совершенствованию технологии ТОО «Кастинг» (Казахстан). Конечный вариант технологической схемы, позволяющий достигнуть извлечения никеля на уровне 90 %, принят заказчиком в виде технического задания на проектирование.

#### **Основные результаты опубликованы в следующих работах:**

*Статьи в рецензируемых научных журналах, определенных ВАК:*

1. Бакиров А.Р. Конверсия сульфатов никеля в гидроксид (II) / А.Р. Бакиров, В.А. Низов, С.Ф. Катышев // Цветные металлы. – 2012. – № 5. – С. 18-21 (0,28 п.л. / 0,2 п.л.).

2. Бакиров А.Р. Фракционирование примесей в процессе кристаллизации сульфата никеля аммонийного шестиводного / А.Р. Бакиров, В.А. Низов, С.Ф. Катышев // Цветные металлы. – 2012. – № 11. – С. 32-35 (0,32 п.л. / 0,25 п.л.).

*Другие публикации:*

3. Бакиров А.Р. Регенерация никеля щелочных аккумуляторов / А.Р. Бакиров, В.А. Низов, С.Ф. Катышев // Проблемы теоретической и экспериментальной химии: тезисы докладов XXI Российской молодежной научной конференции. – Екатеринбург, 2011. – С. 317-318 (0,06 п.л. / 0,03 п.л.).

4. Бакиров А.Р. Редикл никеля в техносфере / А.Р. Бакиров, В.А. Низов, С.Ф. Катышев // Тезисы докладов XII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – Нерюнгри, 2011. – С. 213-215 (0,15 п.л. / 0,1 п.л.).

5. Бакиров А.Р. Пульсационные колонны в технологии получения гидроксида никеля (II) / А.Р. Бакиров, В.А. Низов, С.Ф. Катышев // Система управления экологической безопасностью. – 2012. – Т. 2. – С.87-92 (0,25 п.л. / 0,2 п.л.).

6. Бакиров А.Р. Интенсификация процесса получения гидроксида никеля (II) / А.Р. Бакиров, В.А. Низов, С.Ф. Катышев // Материалы II-ой Международной Казахстанско-Российской конференции по химии и химической технологии. Караганда, 2012. – Т. 1. – С. 53-56. (0,2 п.л. / 0,15 п.л.).

7. Бакиров А.Р. Комплексная технология утилизации отработанного электролита рафинирования меди/ А.Р. Бакиров, В.А. Низов, С.Ф. Катышев // Система управления экологической безопасностью. – 2013. – Т. 2. – С. 43-48 (0,21 п.л. / 0,15 п.л.).

8. Бакиров А.Р. Фракционирование цинка в процессе кристаллизации аммонийной соли никеля / А.Р. Бакиров, В.А. Низов, С.Ф. Катышев // Система управления экологической безопасностью. – 2014. – С.164-170 (0,2 п.л. / 0,15 п.л.).

*Патенты:*

9. Пат. Российской Федерации 2449033, МПК C22B23/00, C22B15/00, C22B3/44. Способ переработки медно-никелевого сернокислого раствора / В.А. Низов, А.Р. Бакиров, В.Н. Мащенко; заявл. 11.11.2010; опубл. 27.04.2012.

10. Пат. Российской Федерации 2463254, МПК C01G53/04. Способ получения гидроксида никеля (II). / В.А. Низов, А.Р. Бакиров, С.Ф. Катышев; заявл. 09.03.2011; опубл. 10.10.2012.

Подписано в печать \_\_\_\_\_.2014. Формат 60x84 /16.

Бумага для множ. аппаратов.

Печать плоская. Усл. печ. 1,2 п. л. Уч.-изд. 1,0 л. Тираж 100 экз. Заказ № .

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»

---